

10/540334  
PCT/FR 03/50186  
23 DEC. 2003  
20 JUN 2005

# BREVET D'INVENTION

16 APR 2004

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 23 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

DOCUMENT DE PRIORITÉ  
PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

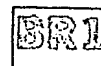
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354\*03

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2




Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 0 7 / 210502

<b>REMISE EN DÉLIVRANCE</b> DATE <b>19 DEC 2002</b> LIEU <b>75 INPI-PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>0216178</b> DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>19 DEC. 2002</b>		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b> <b>BREVATOME</b> <b>3, rue du Docteur Lancereaux</b> <b>75008 PARIS</b> <b>422-5 S/002</b>	
<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b> B14131.3/JL DD2348			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b>		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>			
MATRICE DE DETECTEURS MULTISPECTRAUX.			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale _____ Prénoms _____ Forme juridique _____ N° SIREN _____ Code APE-NAF _____ Domicile ou siège _____ Rue _____ Code postal et ville _____ Pays _____ Nationalité _____ N° de téléphone (facultatif) _____ Adresse électronique (facultatif) _____		<b>COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE</b>  Etablissement de caractère Scientifique, Technique et Industriel _____ _____ 31-33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème FRANCE FRANCAISE N° de télécopie (facultatif) 0	
		<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	

Remplir impérativement la 2<sup>ème</sup> page

RÉMISE DES PIÈCES DATE <b>15 DEC 2004</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0216178</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI
<b>6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b> Nom <b>LEHU</b> Prénom <b>Jean</b> Cabinet ou Société <b>BREVATOME</b> N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel <b>422.5/S002</b> 7068 du 12.06.98 Adresse Rue <b>3, rue du Docteur Lancereaux</b> Code postal et ville <b>75 008 PARIS</b> Pays <b>FRANCE</b> N° de téléphone (facultatif) <b>01 53 83 94 00</b> N° de télécopie (facultatif) <b>01 45 63 83 33</b> Adresse électronique (facultatif) <b>brevets.patents@brevalex.com</b>		
<b>7 INVENTEUR (S)</b> Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b> Établissement immédiat ou établissement différé		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG
<b>10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS</b> Le support électronique de données est joint La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé « Suite », indiquez le nombre de pages jointes		
<b>11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) <b>J. LEHU</b>		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b> 

## MATRICE DE DETECTEURS MULTISPECTRAUX

## DESCRIPTION

## DOMAINE TECHNIQUE

5

Cette invention a pour sujet une matrice de détecteurs multispectraux. Ce type de matrice a le plus souvent pour but de retranscrire des images. Elle peut aussi être utilisée pour exploiter des signaux lumineux  
10 issus d'appareils de mesure.

La lumière peut être comprise dans son sens large, c'est-à-dire de l'infrarouge à l'ultraviolet. Les détecteurs délivrent des signaux électriques en rapport avec les intensités lumineuses reçues. Chaque  
15 gamme spectacle se transforme en des signaux électriques différents. Suivant la structure de détecteurs, ces informations de couleur sont sorties en parallèle ou successivement. Certaines matrices délivrent, en plus, plusieurs signaux en parallèle pour  
20 transmettre l'information plus rapidement.

Il existe de multiples structures pour ces matrices de photodétecteurs. Certaines structures ont une grille qui permet de stocker les charges pendant un instant avant de les envoyer sur des amplificateurs du  
25 circuit de lecture. La liaison électrique entre la matrice de détecteurs et le circuit de lecture peut se faire par hybridation de la matrice sur le circuit de lecture.

30

## ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

On connaît de multiples structures de matrices de détecteurs multispectraux. Pour obtenir la  
5 détection de plusieurs bandes spectrales, plusieurs solutions sont classiquement utilisées.

La plus connue de ces solutions consiste à utiliser des filtres de couleurs. Typiquement, trois  
filtres sont utilisés : un filtre rouge, un filtre vert  
10 et un filtre bleu pour essayer de capter les informations de couleurs de la lumière visible. Chaque élément d'image (ou pixel) n'a qu'un filtre devant lui. Les filtres changent périodiquement de pixel en pixel mais ceci a pour conséquence que la résolution pour  
15 chaque couleur est trois fois plus faible que la résolution de la matrice sans ses trois filtres. De plus, environ les deux tiers de l'intensité lumineuse sont perdus par absorption dans les filtres.

Une autre solution classique est d'utiliser  
20 trois matrices autour d'un prisme optique séparant les gammes spectrales. Cette solution écarte les limitations de la solution précédente, mais les avantages de compacité d'une matrice de détecteurs sont perdus. En effet, le prisme optique chargé de séparer  
25 les longueurs d'onde possède une épaisseur importante. Ce prisme est d'autant plus épais et lourd que les matrices de photodétecteurs sont grandes.

D'autres solutions, moins utilisées, font appel à d'autres composants optiques tels que des  
30 réseaux, mais au moins l'un des inconvénients signalés dans les solutions précédentes s'y retrouve. Dans tous

les cas, il s'agit de dispositifs optiques ajoutés au-dessus d'une ou de plusieurs matrices de détecteurs.

Une solution récente, divulguée par le document WO-A-00/62 350 consiste à créer une matrice contenant un empilement de zones dopées et de polarités alternées, formant ainsi des diodes connectées en série. Du fait de leur localisation à des profondeurs différentes, chaque diode d'un empilement détecte une couleur différente. Ces zones fortement dopées ont l'inconvénient de recombiner rapidement les paires électrons-trous photo-générées.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

Pour remédier aux inconvénients de l'art antérieur, il est ici proposé de complexifier la structure des matrices. La solution correspond principalement à l'introduction de couches diélectriques dans la structure interne de la matrice. Cette complexification tire avantage des propriétés de l'absorption optique des matériaux. Les différentes longueurs d'onde d'une lumière sont absorbées dès la surface du matériau, mais le coefficient d'absorption est variable avec la longueur d'onde. Certaines longueurs d'onde sont presque complètement absorbées dans une très faible épaisseur alors que d'autres continuent à se propager dans la profondeur du matériau.

L'absorption s'accompagne de la création de charges électriques. Les techniques actuelles permettent de placer des couches diélectriques dans le

matériau. On peut ainsi séparer les unes des autres les charges électriques créées à des profondeurs différentes. Si les couches diélectriques sont transparentes, chaque profondeur de la structure absorbante correspond alors à des proportions différentes de chacune des longueurs d'onde.

Les coefficients d'absorption des matériaux sont connus et constants. Si la structure absorbante comporte autant de paires de couches diélectriques/absorbantes que de gammes de longueur d'onde dont il faut mesurer les intensités et si l'épaisseur des couches absorbantes est choisie de manière appropriée, alors il est possible d'obtenir suffisamment d'informations pour remonter par calcul aux intensités de chaque gamme spectrale.

Le calcul peut se faire électriquement par plusieurs méthodes classiques. Il peut se faire en complexifiant le circuit d'amplification analogique et en créant les contre-réactions adaptée entre les différents amplificateurs opérationnels. Il peut également se faire en associant la matrice de détecteurs et son circuit amplificateur à un (ou plusieurs) convertisseur analogique/numérique et à un (ou plusieurs) processeur de calcul classique.

L'invention a donc pour objet une structure de matrice de détecteurs multispectraux comprenant :

- une superposition de plusieurs couches de matériau semiconducteur séparées par des couches de matériau diélectrique transparent pour une lumière à détecter, ladite superposition offrant une face de réception de la lumière à détecter, ladite

superposition de couches de matériau semiconducteur étant répartie en éléments d'image ou pixels, chaque partie de couche de matériau semiconducteur correspondant à un pixel comprenant un élément de détection de la lumière délivrant des charges électriques en réponse à de la lumière reçue par cet élément de détection,

- des moyens de collecte des charges électriques délivrées par chaque élément de détection de la lumière, ces moyens de collecte étant reliés électriquement à des moyens de connexion électrique.

La structure peut avoir la forme d'une plaque présentant deux faces principales opposées : une première face qui est la face de réception de la lumière à détecter et une deuxième face électriquement isolée et supportant les moyens de connexion électrique. La deuxième face peut alors constituer une face d'hybridation avec un dispositif d'exploitation des charges électriques collectées.

Les moyens de collecte peuvent comprendre des traversées conductrices. Ces traversées conductrices peuvent être logées dans des puits, chaque puits ayant une profondeur permettant d'atteindre un élément de détection correspondant en traversant, sans contact électrique, au moins l'une desdites couches de matériau semiconducteur.

Chaque élément de détection peut comprendre au moins une jonction semiconductrice résultant, par exemple, de la présence d'une zone dopée dans ladite partie de couche de matériau semiconducteur.



Les moyens de collecte des charges peuvent comprendre des parois conductrices remplissant des tranchées réalisées dans la superposition des couches de matériau semiconducteur pour assurer un contact  
 5 électrique avec toutes les couches de matériau semiconducteur et pour former une électrode commune à tous les éléments de détection. Ces tranchées peuvent être réalisées selon un réseau de mailles tel qu'une maille contient plusieurs éléments de détection. Elles  
 10 peuvent aussi être réalisées selon un réseau de mailles tel qu'une maille contient un seul élément de détection. Les parois conductrices peuvent être en contact électrique avec les couches de matériau semiconducteur par des zones dopées de ces couches de  
 15 matériau semiconducteur. Elles peuvent aussi être localement électriquement isolées des éléments de détection et de l'électrode commune pour constituer des condensateurs de stockage de charges électriques. Des moyens réfléchissant la lumière peuvent être disposés  
 20 au-dessus des parois conductrices afin de réfléchir la lumière à détecter, se dirigeant vers les parois conductrices, ~~vers les éléments adjacents aux parois~~ conductrices.

La superposition de couches de matériau  
 25 semiconducteur peut comprendre des couches de matériau semiconducteur de même nature ou de nature différente.

Selon un mode particulier de réalisation, la superposition comprenant n couches de matériau semiconducteur, l'épaisseur de chaque couche est  
 30 déterminée en fonction de n gammes de longueurs d'onde définies du spectre lumineux pour que la couche de

matériau semiconducteur située le plus près de la face de réception de la lumière absorbe la quasi-totalité d'une première gamme de longueur d'onde définie, les deux couches de matériau semiconducteur situées le plus  
5 près de la face de réception de la lumière absorbent la quasi-totalité d'une deuxième gamme de longueur d'onde définie, et ainsi de suite jusqu'à  $n$ , les intensités mesurées par chaque élément de détection d'un même pixel permettant de restituer, en fonction des  
10 coefficients d'absorption de chaque couche de matériau semiconducteur, les intensités de chacune des  $n$  longueurs d'onde reçues par le pixel. Trois couches de matériau semiconducteur permettent d'obtenir une structure bien adaptée à la détection de la lumière  
15 pour l'imagerie dans la gamme du visible, mais pour d'autres applications, le nombre de couches peut être plus important.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

20

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins  
25 annexés par lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe transversale d'une première variante de réalisation d'une matrice de détecteurs multispectraux selon l'invention, hybridée à un circuit de lecture,

- la figure 2 est une vue de dessus d'une matrice de détecteurs multispectraux du type de la première variante selon l'invention,

5 - la figure 3 est une vue en coupe transversale d'une deuxième variante de réalisation d'une matrice de détecteurs multispectraux selon l'invention, hybridée à un circuit de lecture,

10 - la figure 4 est une vue de dessus d'une matrice de détecteurs multispectraux du type de la deuxième variante selon l'invention,

- la figure 5 est une vue de dessus d'une troisième variante de réalisation d'une matrice de détecteurs multispectraux selon l'invention,

15 - la figure 6 est un graphe représentant des courbes d'absorption de la lumière dans un matériau semiconducteur pour trois longueurs d'onde différentes,

- les figures 7A à 7R illustrent un procédé de réalisation de la deuxième variante de matrice de détecteurs multispectraux selon l'invention.

20

# DESCRIPTION DETAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

25 La figure 1 est une vue en coupe transversale d'une première variante de réalisation d'une matrice de détecteurs multispectraux 100 selon l'invention, hybridée à un circuit de lecture 10.

30 Dans cette variante de réalisation, la matrice de détecteurs multispectraux 100 comprend, en superposition, trois couches de matériau semiconducteur

par exemple trois couches de silicium 101, 102 et 103 disposées dans cet ordre par rapport à la provenance de la lumière à détecter. Une couche de  $\text{SiO}_2$  104 sépare les couches semiconductrices 101 et 102. Une couche de  $\text{SiO}_2$  105 sépare les couches semiconductrices 102 et 103. Une couche de passivation 106 en  $\text{SiO}_2$  constitue la face de réception de la lumière à détecter.

La matrice de détecteurs 100 se présente sous la forme d'une plaque. La face de la plaque opposée à la face de réception de la lumière à détecter, encore appelée face arrière, est pourvue d'une première couche diélectrique 111 et d'une deuxième couche diélectrique 112.

La figure 1 ne montre que deux pixels, mais leur nombre peut être de plusieurs milliers dans chaque direction du plan. Chaque pixel comprend trois plots conducteurs 121, 122 et 123 connectés respectivement à des parties des couches semiconductrices 101, 102 et 103 et disposés sur la face arrière de la structure. Chaque plot conducteur 121 est connecté électriquement à sa partie de couche semiconductrice 101 par une traversée conductrice ~~131~~ contenue dans un puit pourvu d'une paroi 141 électriquement isolante pour les couches semiconductrices 102 et 103. Chaque plot conducteur 122 est connecté électriquement à sa partie de couche semiconductrice 102 par une traversée conductrice 132 contenue dans un puits pourvu d'une paroi 142 électriquement isolante pour la couche semiconductrice 103. Chaque plot conducteur 123 est connecté électriquement et directement à sa partie de couche semiconductrice 103.

Les pixels représentés sur la figure 1 sont entourés de parois conductrices 151, par exemple en polysilicium, contenues dans des tranchées réalisées dans la superposition des couches semiconductrices 101, 102 et 103. Ces parois conductrices sont en contact électrique avec les couches semiconductrices 101, 102 et 103. Les faces 152 des tranchées peuvent être dopées afin de parfaire le contact électrique avec les couches de matériau semiconducteur 101, 102 et 103. Les parois conductrices 151 constituent l'électrode commune de toutes les photodiodes de la matrice de détecteurs. Elles sont connectées électriquement à des plots conducteurs 153 situés sur la face arrière de la structure.

Chaque pixel de la structure représentée comporte trois parties des couches de matériau semiconducteur 101, 102 et 103 et donc trois diodes à jonction. Les diodes sont formées en dopant, par un dopant adapté, des zones du matériau semiconducteur. Ainsi, les plots 123 sont connectés à des zones dopées 163 de la couche semiconductrice 103. Les plots 122 sont connectés, par l'intermédiaire des traversées 132, à des zones dopées 162 de la couche semiconductrice 102. Les plots 121 sont connectés, par l'intermédiaire des traversées 131, à des zones dopées 161 de la couche semiconductrice 101.

Les couches de matériau diélectrique 104 et 105 ont une épaisseur très inférieure aux longueurs d'onde de la lumière à détecter afin de minimiser les réflexions optiques. Elles ont une épaisseur suffisante

pour résister aux tensions mises jeu pour évacuer les charges, c'est-à-dire environ 20  $\mu\text{m}$ .

Le circuit de lecture 10\_\_supporte, sur une face mise en regard de la face arrière de la matrice de détecteurs 100, des plots de contact 21, 22, 23 et 53 qui constituent des entrées pour le circuit de lecture. Les plots 21, 22, 23 et 53 sont disposés en regard respectivement des plots 121, 122, 123 et 153. Les plots correspondants sont reliés entre eux par des billes conductrices 20.

La figure 2 est une vue de dessus d'une matrice de détecteurs multispectraux du type de la première variante de l'invention. Elle est destinée à montrer de manière privilégiée certains éléments de la structure. Les éléments montrés portent les mêmes références que sur la figure 1 même si leur disposition n'est pas la même. En particulier, les photodiodes d'un même pixel sont disposées en triangle et les parois conductrices 151 forment un carré contenant quatre pixels.

Dans les structures illustrées par les figures 1 et 2, il n'y a pas de limite physique entre les pixels contenus dans la maille définie par les parois conductrices 151. La collecte des photoélectrons se fait le plus probablement par la jonction la plus proche dans chaque couche de matériau semiconducteur. Par contre, chaque couche de matériau semiconducteur est isolée des autres et ne reçoit que les photons qui parviennent jusqu'à elle.

La figure 3 est une vue en coupe transversale d'une deuxième variante de réalisation

d'une matrice de détecteurs multispectraux 200 selon l'invention, hybridée à un circuit de lecture 10.

La seule différence entre cette matrice de détecteurs et celle de la figure 1 est que tous les pixels sont isolés physiquement les uns des autres. Les deux pixels visibles sur cette figure sont séparés par une paroi conductrice 151 analogue aux parois conductrices 151 de la figure 1. La paroi conductrice 151 est contenue dans une tranchée réalisée dans la superposition des couches semiconductrices. Les faces 152 des tranchées peuvent être dopées. Comme pour la matrice de la figure 1, la paroi conductrice 151 est connectée électriquement à un plot conducteur 153 situé sur la face arrière de la structure.

Le circuit de lecture 10 peut comporter un plot de contact 53 supplémentaire pour obtenir une liaison électrique supplémentaire, par l'intermédiaire de la bille conductrice 20, avec le plot conducteur 153. S'il n'est pas nécessaire dans tous les cas, le plot de contact supplémentaire est avantageux dans le cas où l'électrode est complexe. Il peut en effet être intéressant de reporter les interconnexions sur le circuit de lecture 10.

La figure 4 est une vue de dessus d'une matrice de détecteurs multispectraux du type de la deuxième variante de l'invention. Elle est destinée à montrer de manière privilégiée certains éléments de la structure. Les éléments montrés ne sont pas disposés de la même façon que sur la figure 3. En particulier, les photodiodes d'un même pixel sont disposées en triangle.

La deuxième variante de réalisation est préférée en présence de sources éblouissantes. La qualité des images qu'elle permet d'obtenir est meilleure que celles fournies par la première variante de l'invention. S'il n'y a pas de séparation physique entre pixels, les photoélectrons générés par exemple par le rouge dans les différentes couches semiconductrices peuvent diffuser en dehors de leur zone. Il en va de même pour les photoélectrons issus du vert. A la limite des deux zones rouge et verte côté à côté apparaît alors une zone jaune (mélange de rouge et de vert selon le principe de la trichromie) trompeuse. De plus, la diffusion des photoélectrons issus du rouge et du vert étant différente, car générés dans des couches différentes, la zone jaune n'est pas centrée sur la limite des zones verte et rouge mais est déportée. Une structure à pixels physiquement complètement séparés ne présente pas ces problèmes de diffusion latérale.

Un inconvénient de la multiplication des parois conductrices est qu'une partie non négligeable de la surface éclairée n'est plus détectrice. Une solution pour remédier à cet inconvénient est de placer des pyramides (ou lames de couteau) à surface réfléchissante sur les parois conductrices pour réfléchir la lumière incidente vers la surface détectrice.

La figure 5 est une vue de dessus d'une troisième variante de réalisation d'une matrice de détecteurs multispectraux selon l'invention.



La matrice de détecteurs illustrée par cette figure est une structure à pixels isolés comme pour la figure précédente, mais complexifiée par rapport à la structure précédente afin de lui ajouter une capacité de stockage de charge dont le potentiel est pilotable.

Les parois conductrices 151 isolent complètement chaque pixel comme pour la variante de réalisation représentée à la figure 4. A la différence de la variante précédente, des parties de ces parois sont électriquement isolées des couches de matériau semiconducteur ainsi que les autres parties conductrices. Ces parties sont désignées sous la référence 154. Il en résulte une autre configuration de l'électrode 153 commune aux photodiodes et la présence de pistes conductrices 155 formant une deuxième électrode pour les condensateurs ainsi créés. L'électrode 153 et les parties 154 sont connectées à des électrodes différentes afin de charger et de décharger les condensateurs de stockage ainsi formés.

Toutes les couches de matériau semiconducteur de la structure sont concernées par cette nouvelle variante. Chaque pixel de chaque couche possède alors une capacité formant la photo-grille. Pratiquement, il est avantageux de placer un bord des zones dopées au plus près de la capacité. La raison en est le transfert des charges au moment du changement de potentiel de la capacité, ce qui permet de faciliter le déversement des photo-charges accumulées vers les amplificateurs du circuit de lecture.

D'autres variantes de réalisation sont bien sûr possibles. Par exemple, les couches détectrices peuvent être en matériau semiconducteur de nature différente.

5 Dans le cas général de l'invention, il n'y a pas de contrainte précise pour déterminer l'épaisseur des couches. La figure 6 est un graphe représentant des courbes d'absorption de la lumière dans un matériau semiconducteur pour trois longueurs d'onde différentes.

10 L'axe des ordonnées représente l'intensité restante  $I$  en fonction de la profondeur  $p$  de pénétration dans un matériau semiconducteur. Le graphe représente donc l'absorption de la lumière dans un matériau semiconducteur, en l'occurrence du silicium.

15 L'absorption a été tracée pour trois longueurs d'onde. La courbe 1 représente l'absorption d'une longueur d'onde de  $0,45 \mu\text{m}$  (lumière bleue) et correspond à un coefficient d'absorption  $\alpha$  égal à 2. La courbe 2

20  $\mu\text{m}$  (lumière verte) et correspond à un coefficient d'absorption  $\alpha$  égal à 0,75. La courbe 3 représente l'absorption d'une longueur d'onde de  $0,65 \mu\text{m}$  (lumière rouge) et correspond à un coefficient d'absorption  $\alpha$  égal à 0,35.

25 Ce graphe montre qu'à  $2 \mu\text{m}$  de profondeur, plus de 90 % de la lumière bleue a été absorbée et qu'après  $5 \mu\text{m}$  de profondeur, plus de 90 % de la lumière verte l'est aussi. Cela semble proche d'un bon compromis pour la sensibilité aux couleurs du visible.

30 Le compromis idéal doit maximiser la quantité de photons et obtenir une proportion très différente de

photons dans chacune des couches de matériau semiconducteur.

L'intensité d'une onde lumineuse se propageant dans un matériau absorbant est donnée par  
5 l'expression :

$$I = I_0 \cdot E^{-\alpha x}$$

$I_0$  étant l'intensité de l'onde avant sa pénétration dans le matériau absorbant et  $x$  la distance (ou profondeur) parcourue par l'onde dans le matériau.

10 Si on fixe l'absorption minimale de toutes les gammes spectrales (par exemple à 90 %), alors l'épaisseur des couches semiconductrices est fixée puisque les coefficients d'absorption sont constants.

A titre d'exemple, pour des couches  
15 semiconductrices en silicium, la couche 101 peut avoir 2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur, la couche 102 3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur et la couche 103 7  $\mu\text{m}$  d'épaisseur.

Les intensités mesurées dans chaque couche ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) sont une combinaison des intensités de  
20 chaque gamme rouge (R), verte (V) et bleue (B) :

$$I_1 = a_1 \cdot R + b_1 \cdot V + c_1 \cdot B$$

$$I_2 = a_2 \cdot R + b_2 \cdot V + c_2 \cdot B$$

$$I_3 = a_3 \cdot R + b_3 \cdot V + c_3 \cdot B$$

Les coefficients ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ...) sont  
25 des constantes pour une structure donnée, fonction de l'épaisseur des couches et de la nature du matériau semiconducteur. Les valeurs des intensités mesurées permettent de restituer les valeurs de R, V et B.

Les figures 7A à 7R illustrent un procédé  
30 de réalisation de la deuxième variante de matrice de détecteurs selon l'invention.

Comme le montre la figure 7A, une superposition de couches de matériau semiconducteur séparées par des couches de matériau diélectrique transparent a été réalisée sur un substrat de silicium 110. La superposition a été par exemple réalisée par une technique classique d'obtention de substrats SOI.

Le substrat 110 supporte successivement une couche diélectrique 106, une couche semiconductrice 101, une couche diélectrique 104, une couche semiconductrice 102, une couche diélectrique 105, une couche semiconductrice 103 et une couche diélectrique 111. Les couches 101, 102 et 103 sont par exemple en silicium. Leur épaisseur a été déterminée comme indiqué plus haut. Les couches 106, 104, 105 et 111 sont par exemple en oxyde de silicium.

Les figures 7B à 7H illustrent la formation de tranchées et de diodes dans les couches semiconductrices enterrées.

La couche 111 est gravée en procédant à une étape de photolithographie puis à la gravure de couche d'oxyde de passivation 111. La résine restante est éliminée pour fournir la structure montrée par la figure 7B où les ouvertures 31 et 32 exposent la couche semiconductrice 103. Les ouvertures 31 sont plus larges que les ouvertures 32.

La couche semiconductrice 103 est alors gravée (voir la figure 7C) jusqu'à ce que la couche diélectrique 105 soit atteinte. La couche 105 est atteinte lorsque les tranchées gravées correspondant aux ouvertures les plus larges (les ouvertures 31 de la figure 7B), c'est-à-dire les tranchées 231 sont

réalisées. Les tranchées 232 correspondent aux ouvertures les moins larges, c'est-à-dire aux ouvertures 32.

La figure 7D représente la structure  
5 obtenue lorsque la couche d'oxyde 105 exposée dans les tranchées 231 est gravée pour exposer la couche semiconductrice 102. Le matériau semiconducteur n'est pas affecté par cette gravure.

La couche semiconductrice 102 est alors  
10 gravée à partir des tranchées 231 jusqu'à exposer la couche diélectrique 104 au fond de ces tranchées. La gravure de la couche semiconductrice 103 se poursuit également à partir du fond des tranchées 232 pour atteindre quasi simultanément la couche diélectrique  
15 105. Cette simultanéité résulte du choix des diamètres des ouvertures 31 et 32 (voir la figure 7B). La structure obtenue est montrée à la figure 7E.

Les parois 141 et 142 respectivement des tranchées 231 et 232 sont alors oxydée comme le montre  
20 la figure 7F.

Des dopants sont alors implantés. Ces dopants parviennent dans les zones 161 et 162 des couches semiconductrices respectivement 101 et 102. Les dopants traversent les couches diélectriques 104 et 105  
25 qui sont des couches d'oxyde mince mais ne parviennent pas dans la couche semiconductrice 103 car la couche diélectrique 111 est en oxyde épais. Une gravure sèche anisotrope permet ensuite d'éliminer l'oxyde mince recouvrant les zones dopées 161 et 162. C'est ce que  
30 montre la figure 7G.

Les tranchées sont ensuite remplies par un matériau électriquement conducteur tel que le polysilicium pour fournir les traversées 131 et 132 assurant un contact électrique avec les zones dopées respectivement 161 et 162. Le surplus de remplissage est éliminé par polissage et on obtient la structure montrée à la figure 7H.

Les figures 7I à 7M illustrent la formation de tranchées pour obtenir l'électrode commune.

10 Une couche de passivation de surface 112 est déposée sur la couche 111 en recouvrant les traversées 131 et 132. C'est ce que montre la figure 7I.

15 Des ouvertures 51 sont réalisées dans les couches 112 et 111 jusqu'à exposer la couche semiconductrice 103. Cela peut être obtenu par des étapes de photolithographie et de gravure des couches 112 et 111 et par élimination de la résine restante. On obtient la structure montrée à la figure 7J.

20 Ensuite on grave successivement, au travers des ouvertures 51, les couches de semiconducteur 103, de diélectrique 105, de semiconducteur 102, de diélectrique 104 et de semiconducteur 101 jusqu'à atteindre la couche diélectrique 106. On obtient des  
25 tranchées 251 comme le montre la figure 7K.

Les faces 152 des tranchées 251 sont dopées par diffusion de dopants dans les couches semiconductrices 101, 102 et 103. On obtient la structure montrée à la figure 7L.

30 Les tranchées sont ensuite remplies par un matériau électriquement conducteur tel que le

polysilicium pour fournir les parois assurant un contact électrique avec les faces dopées 152. Le surplus de remplissage est éliminé par polissage. On obtient la structure montrée à la figure 7M.

5 Les figures 7N à 7O illustrent la formation des zones dopées dans la couche semiconductrice 103.

La figure 7N montre qu'une couche de résine 60 a été déposée sur la couche 112 et qu'elle a été photolithographiée pour former, par gravure des couches  
10 diélectriques 111 et 112, des ouvertures 61, 62 et 63 exposant la couche semiconductrice 103 et le haut des traversées 131 et 132.

Ensuite des dopants sont implantés dans la couche semiconductrice 103, dans les zones exposées par  
15 les ouvertures 61, 62 et 63. La résine est ensuite éliminée. Les dopants sont activés. On obtient la structure montrée par la figure 7O. Les zones nouvellement dopées sont référencées 163. Les zones dopées dans le polysilicium n'ont pas de  
20 caractéristiques particulières.

La figure 7P représente la structure obtenue lorsque ~~les~~ plots conducteurs ont été déposés. Pour obtenir ce résultat, la couche diélectrique a été légèrement désoxydée et une couche métallique a été  
25 déposée. On procède à une photolithographie de la couche métallique. Les plots conducteurs sont gravés dans cette couche métallique et la résine restante est éliminée. On obtient des plots 153 en contact avec les parois 151, des plots 121 en contact avec les  
30 traversées 131, des plots 122 en contact avec les

traversées 132 et des plots 123 en contact les zones dopées 163.

La figure 7Q montre des billes d'hybridation 20 qui ont été formées sur les plots conducteurs 153, 121, 122 et 123.

La figure 7R montre l'hybridation de la structure obtenue sur un circuit de lecture 10 aux moyens des billes 20. Les billes 20 connectent électriquement et respectivement les plots 153, 121, 122 et 123 de la structure aux plots 53, 21, 22 et 23 du circuit de lecture 10. L'espace interbille est éventuellement rempli par un matériau non conducteur électrique.

Le substrat 110 est ensuite éliminé par amincissement jusqu'à la couche 106 qui sert de couche d'arrêt et de protection. On obtient alors le dispositif représenté à la figure 3.

La matrice de détecteurs selon l'invention permet de traiter le maximum de lumière incidente. Toute la face éclairée, avantageusement pourvue d'une couche antireflet, transmet la lumière qu'elle reçoit à l'intérieur de la structure. La séparation des gammes spectrales ne nécessite aucun composant optique extérieur, ni filtre, ni prisme. La matrice garde sa résolution quel que soit le nombre des gammes spectrales choisies. Le nombre des couches semiconductrices détermine le nombre de gammes spectrales, mais ne modifie pas l'épaisseur ni le poids de la matrice de photodétecteurs.

30



# REVENDEICATIONS

1 - Structure de matrice de détecteurs multispectraux (100, 200) comprenant :

5                   - une superposition de plusieurs couches de matériau semiconducteur (101, 102, 103) séparées par des couches de matériau diélectrique transparent pour une lumière à détecter (104, 105), ladite superposition offrant une face de réception de la lumière à détecter,  
10                   ladite superposition de couches de matériau semiconducteur (101, 102, 103) étant répartie en éléments d'image ou pixels, chaque partie de couche de matériau semiconducteur correspondant à un pixel comprenant un élément de détection de la lumière  
15                   délivrant des charges électriques en réponse à de la lumière reçue par cet élément de détection,

                  - des moyens de collecte (131, 132, 151) des charges électriques délivrées par chaque élément de détection de la lumière, ces moyens de collecte étant  
20                   reliés électriquement à des moyens de connexion électrique (121, 122, 123, 153).

2 - Structure selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle a la forme d'une plaque  
25                   présentant deux faces principales opposées : une première face qui est la face de réception de la lumière à détecter et une deuxième face électriquement isolée et supportant les moyens de connexion électrique (121, 122, 123, 153).

30

3 - Structure selon la revendication 2, caractérisée en ce que ladite deuxième face constitue une face d'hybridation avec un dispositif d'exploitation des charges électriques collectées (10).

5

4 - Structure selon la revendication 1, caractérisée en ce que les moyens de collecte comprennent des traversées conductrices (131, 132, 151).

10

5 - Structure selon la revendication 4, caractérisée en ce que les traversées conductrices (131, 132) sont logées dans des puits, chaque puits ayant une profondeur permettant d'atteindre un élément de détection correspondant en traversant, sans contact électrique, au moins l'une desdites couches de matériau semiconducteur.

15

6 - Structure selon la revendication 1, caractérisée en ce que ledit élément de détection comprend au moins une jonction semiconductrice.

20

7 - Structure selon la revendication 6, caractérisée en ce que ladite jonction semiconductrice est constituée par la présence d'une zone dopée (161, 162, 163) dans ladite partie de couche de matériau semiconducteur.

25

8 - Structure selon la revendication 1, caractérisée en ce que les moyens de collecte des charges comprennent des parois conductrices (151)

30

remplissant des tranchées réalisées dans la superposition des couches de matériau semiconducteur pour assurer un contact électrique avec toutes les couches de matériau semiconducteur (101, 102, 103) et  
5 pour former une électrode commune à tous les éléments de détection.

9 - Structure selon la revendication 8, caractérisée en ce que les tranchées sont réalisées  
10 selon un réseau de mailles tel qu'une maille contient plusieurs éléments de détection.

10 - Structure selon la revendication 8, caractérisée en ce que les tranchées sont réalisées  
15 selon un réseau de mailles tel qu'une maille contient un seul élément de détection.

11 - Structure selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisée en ce que les  
20 parois conductrices (151) sont en contact électrique avec les couches de matériau semiconducteur (101, 102, 103) par des zones dopées (141, 142, 152) de ces couches de matériau semiconducteur.

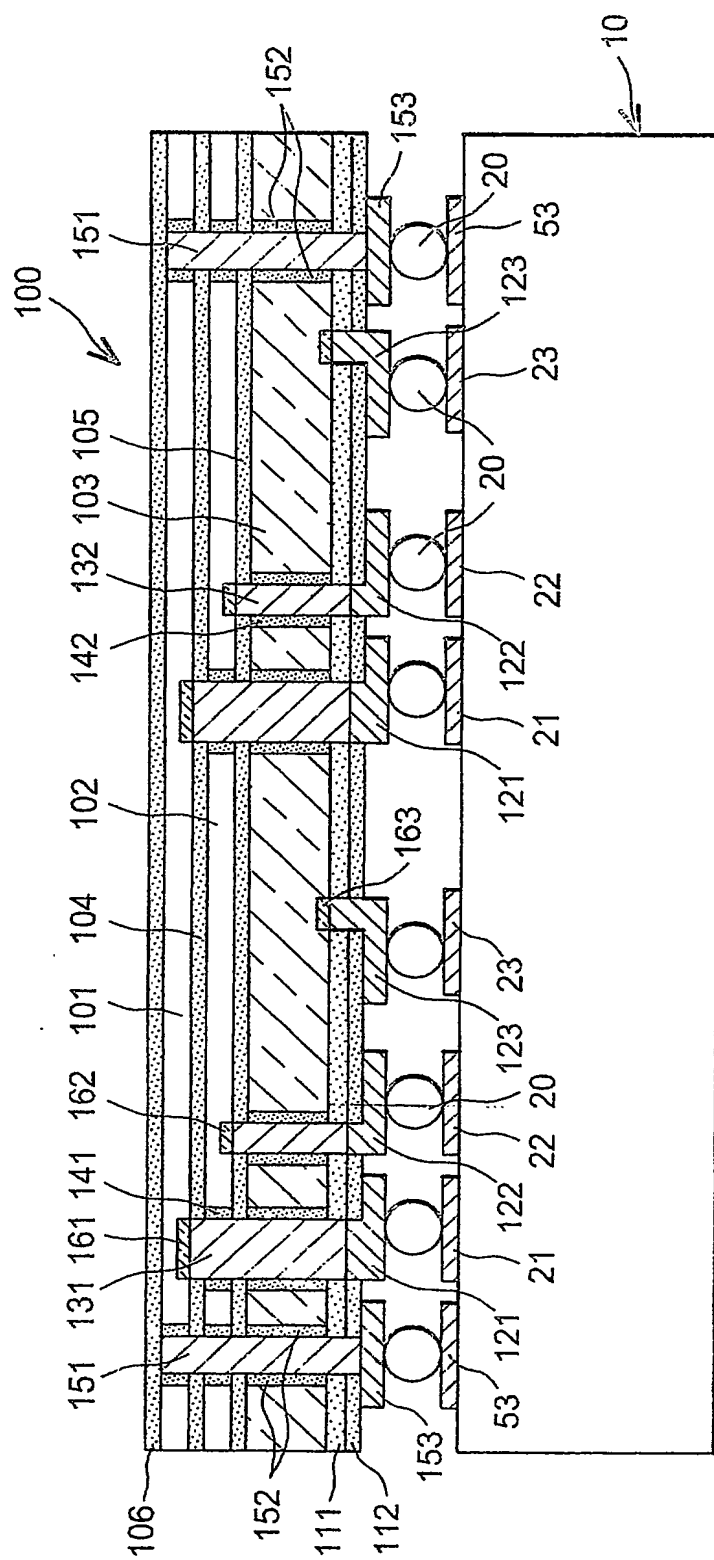
12 - Structure selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, caractérisée en ce que les parois conductrices sont localement électriquement isolées (154) des éléments de détection et de l'électrode commune pour constituer des condensateurs  
30 de stockage de charges électriques.

13 - Structure selon la revendication 8, caractérisée en ce que des moyens réfléchissant la lumière sont disposés au-dessus des parois conductrices afin de réfléchir la lumière à détecter, se dirigeant  
5 vers les parois conductrices, vers les éléments adjacents aux parois conductrices.

14 - Structure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que ladite superposition comprend des couches de matériau  
10 semiconducteur de nature différente.

15 - Structure selon la revendication 1, caractérisée en ce que, la superposition comprenant  $n$  couches de matériau semiconducteur (101, 102, 103), l'épaisseur de chaque couche est déterminée en fonction  
15 de  $n$  gammes de longueurs d'onde définies du spectre lumineux pour que la couche de matériau semiconducteur (101) située le plus près de la face de réception de la lumière absorbe la quasi-totalité d'une première gamme de longueur d'onde définie, les deux couches de  
20 matériau semiconducteur (101, 102) situées le plus près de la face de réception de la lumière absorbent la quasi-totalité d'une deuxième gamme de longueur d'onde définie, et ainsi de suite jusqu'à  $n$ , les intensités mesurées par chaque élément de détection d'un même  
25 pixel permettant de restituer, en fonction des coefficients d'absorption de chaque couche de matériau semiconducteur, les intensités de chacune des  $n$  longueurs d'onde reçues par le pixel.

30



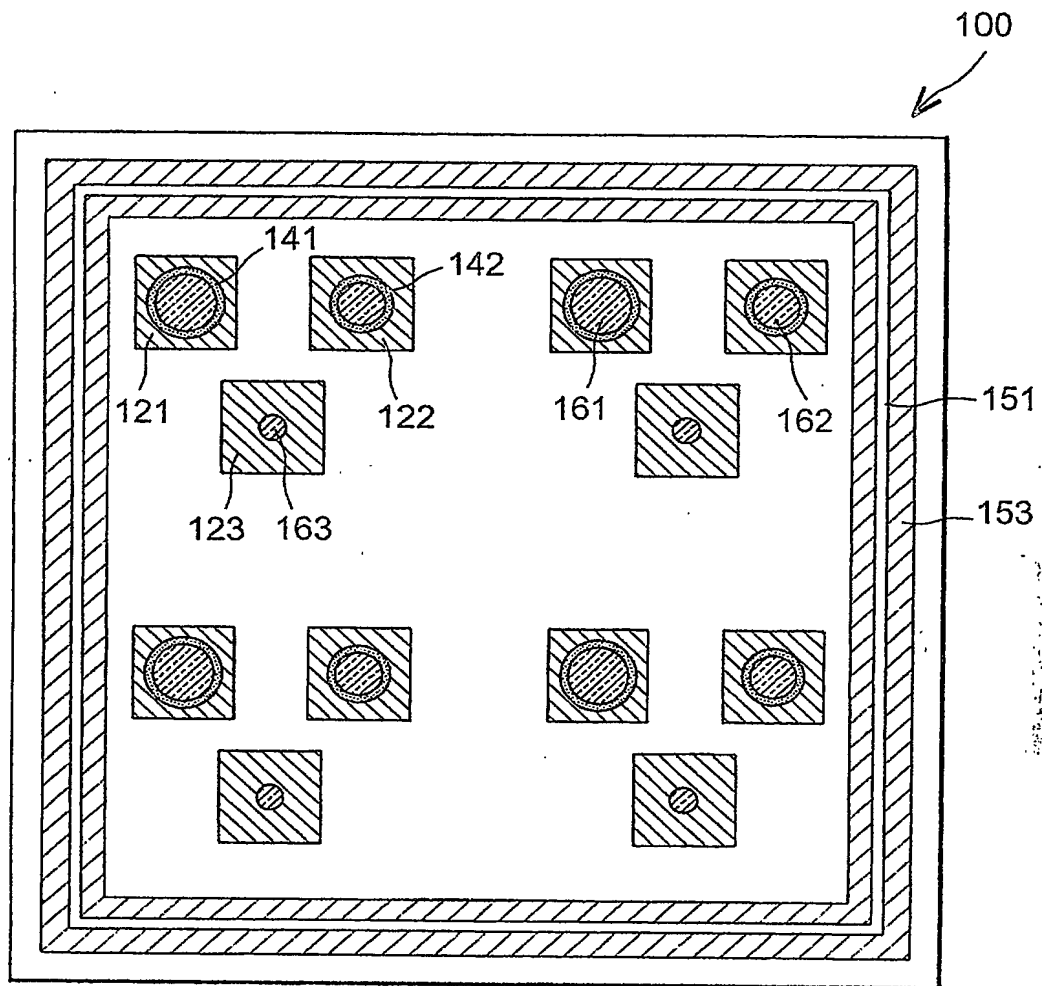
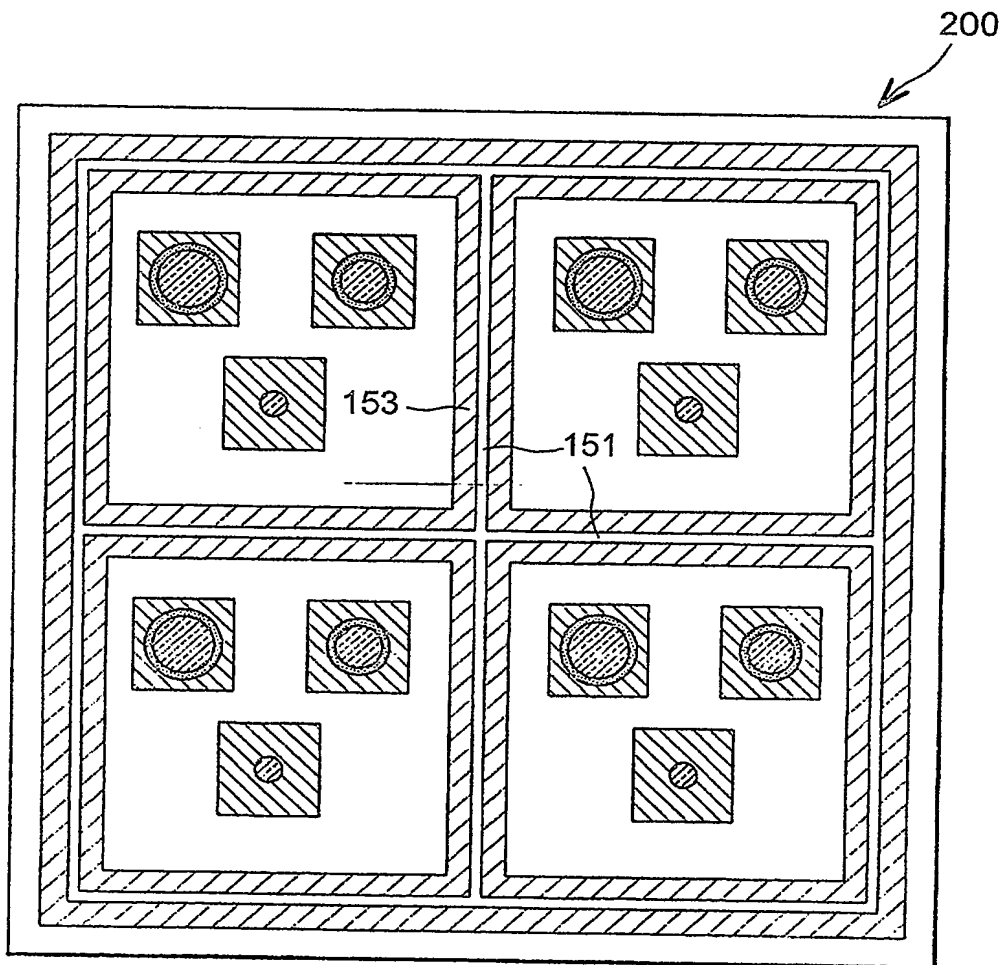
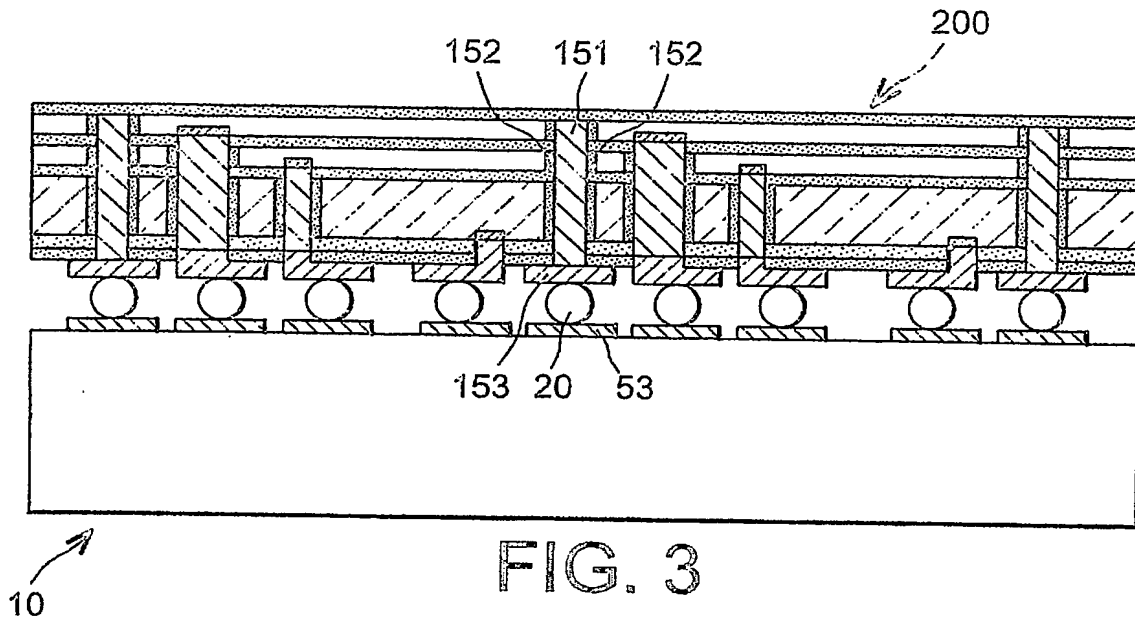
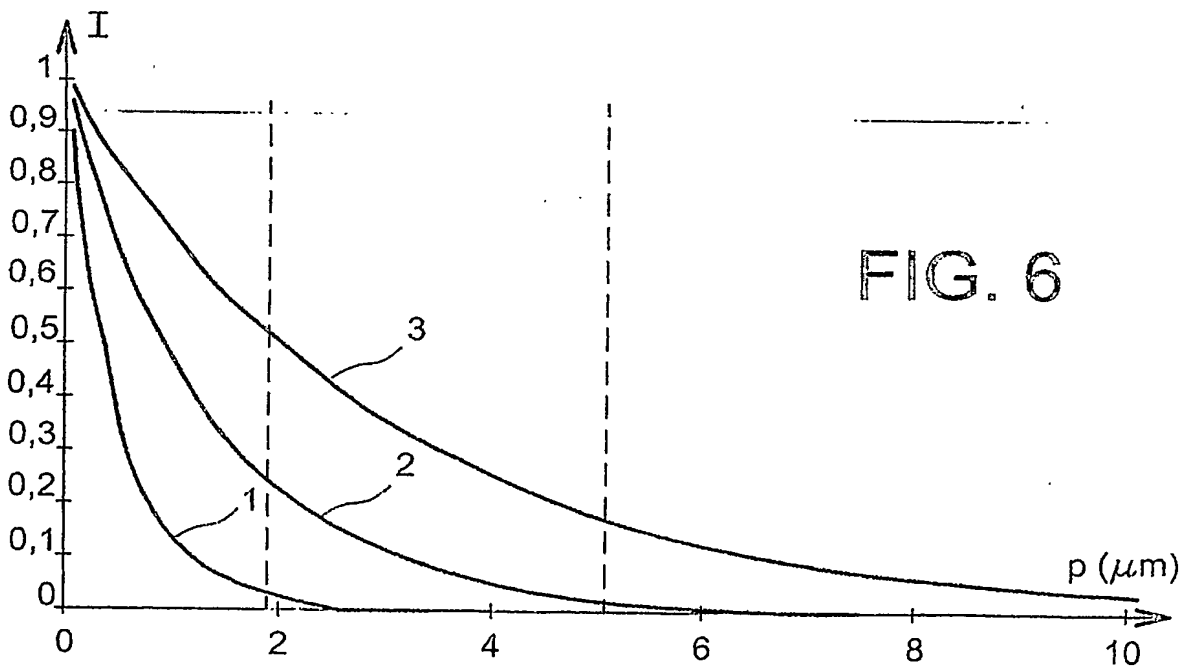
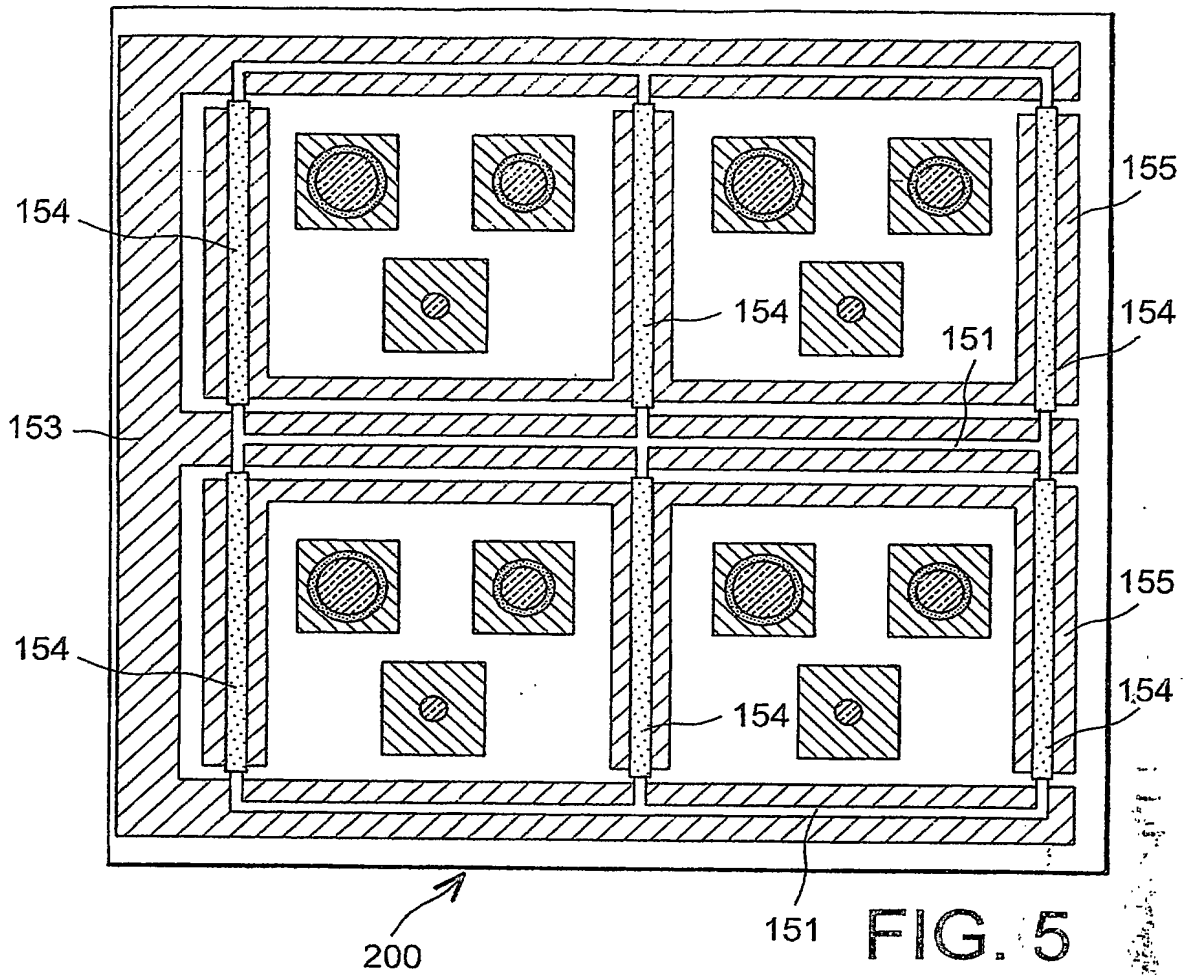


FIG. 2

3 / 10







5 / 10

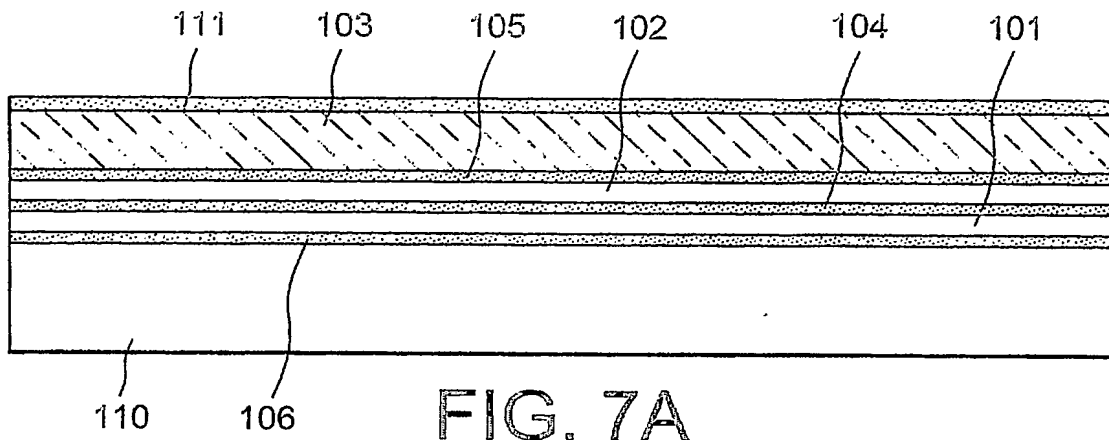


FIG. 7A

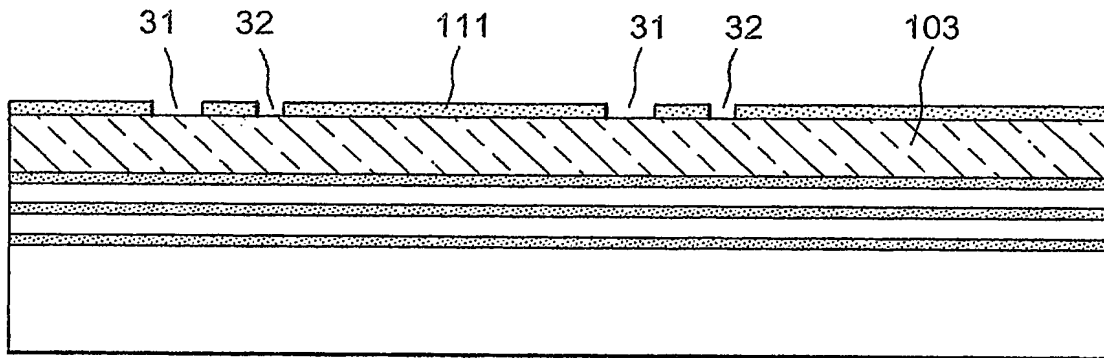


FIG. 7B

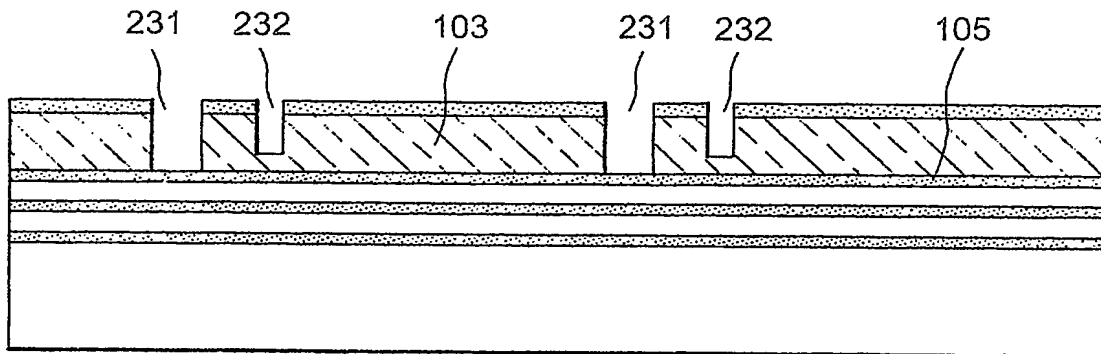


FIG. 7C

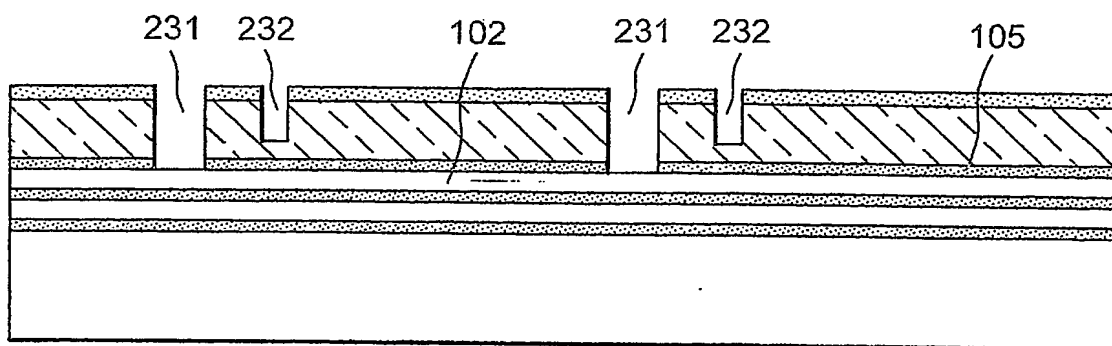


FIG. 7D

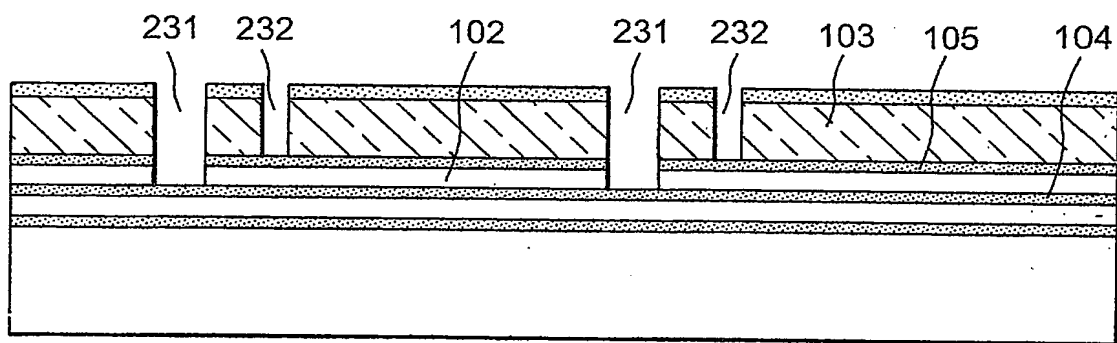


FIG. 7E

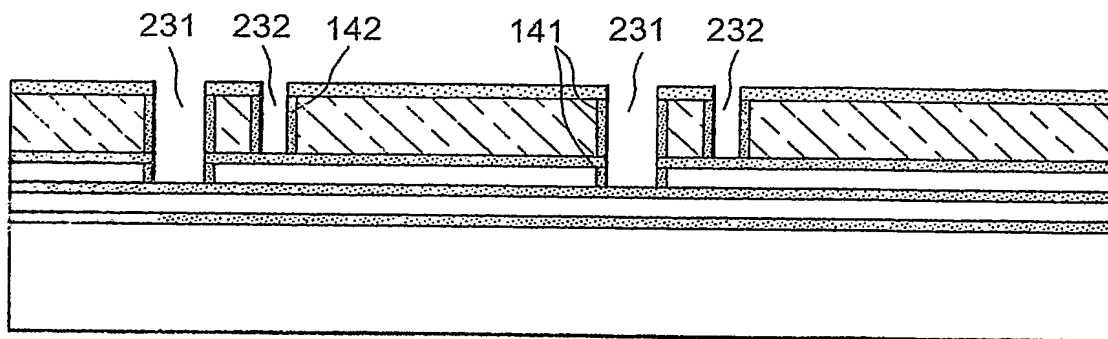


FIG. 7F

7 / 10

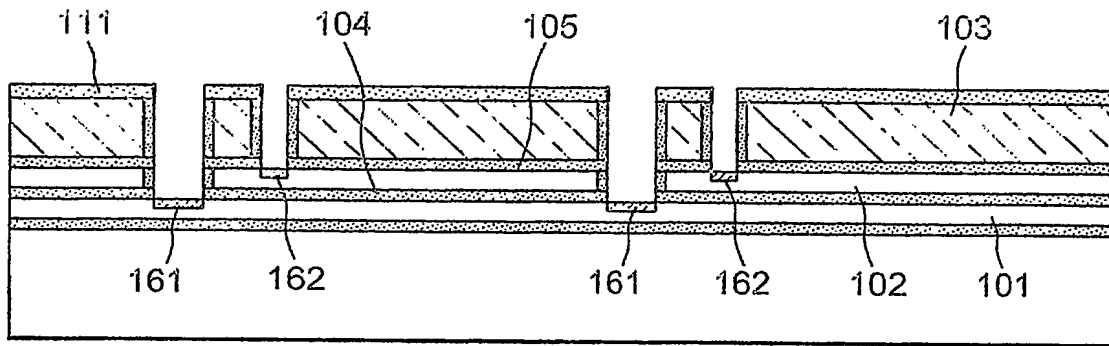


FIG. 7G

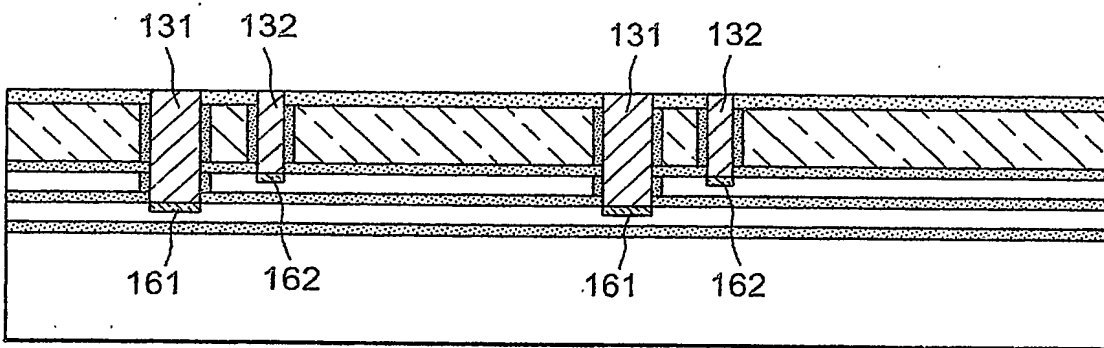


FIG. 7H

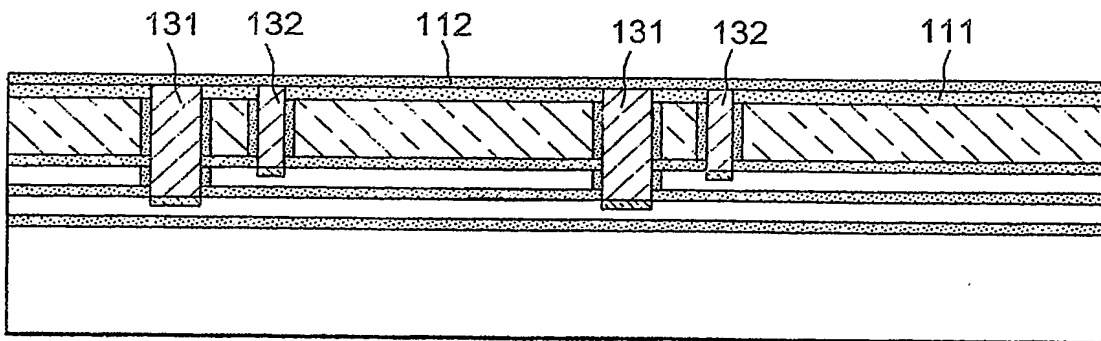


FIG. 7I

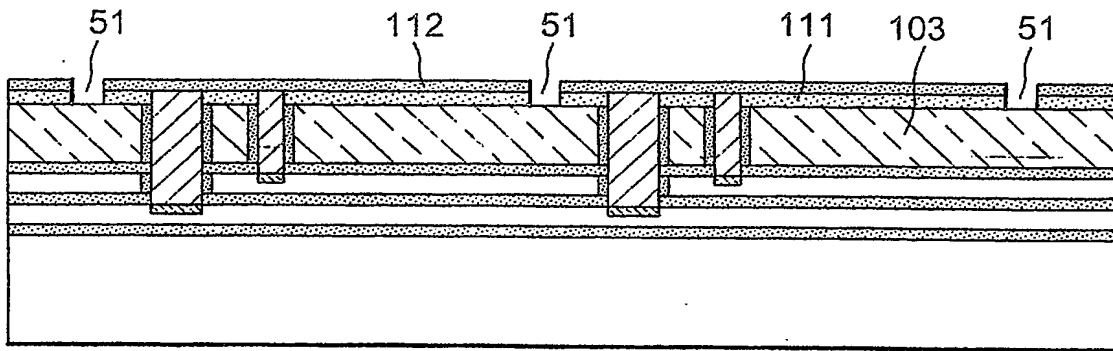


FIG. 7J

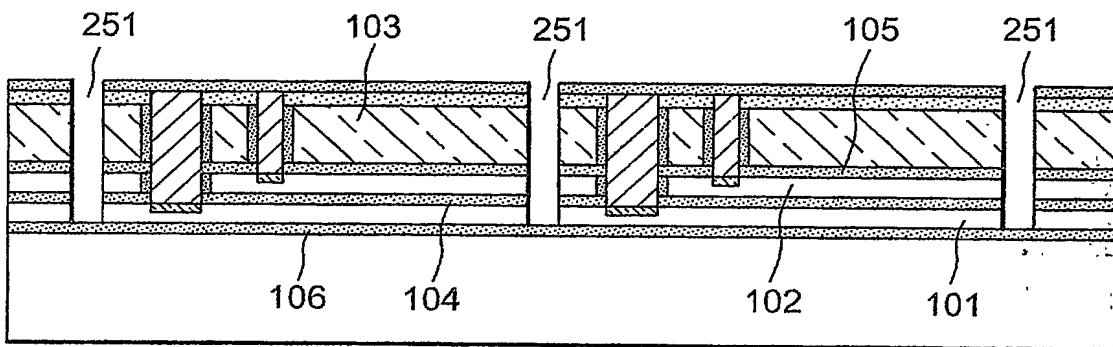


FIG. 7K

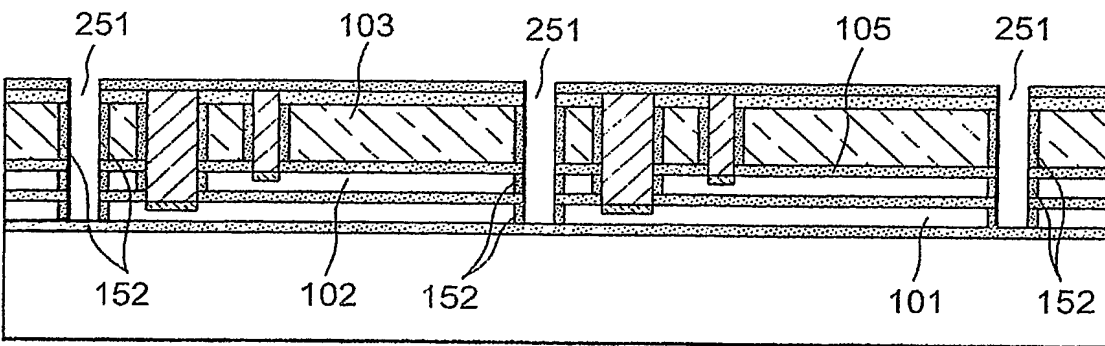


FIG. 7L

9 / 10

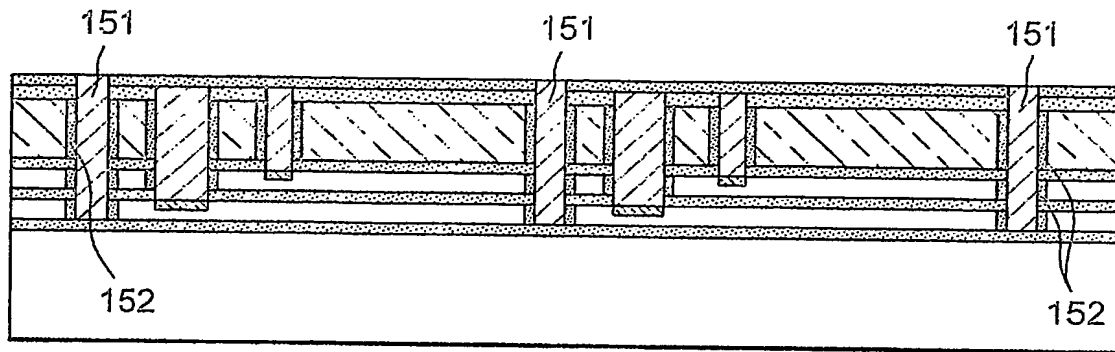


FIG. 7M

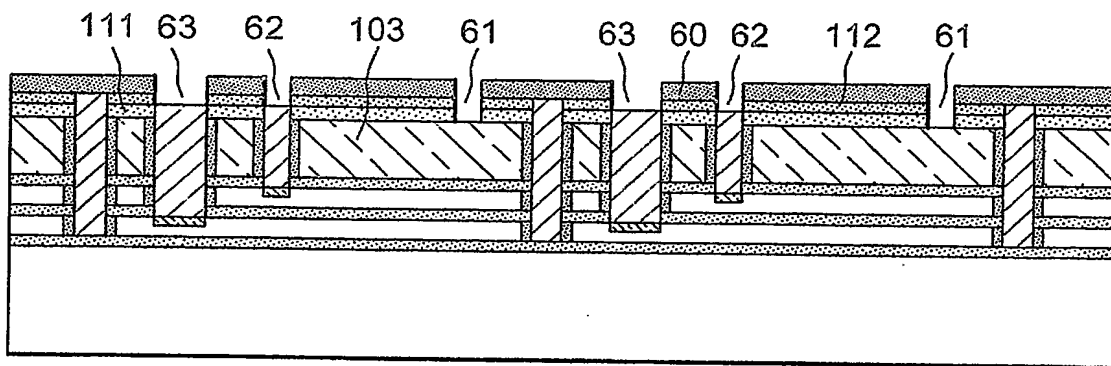


FIG. 7N

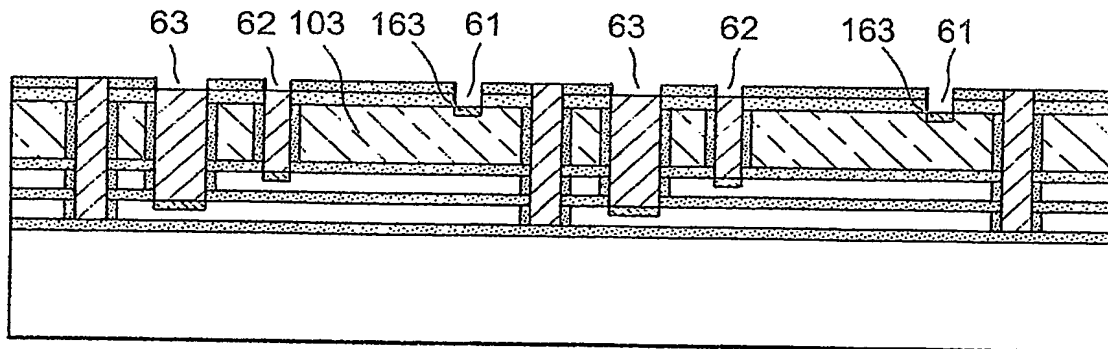


FIG. 7O

10 / 10

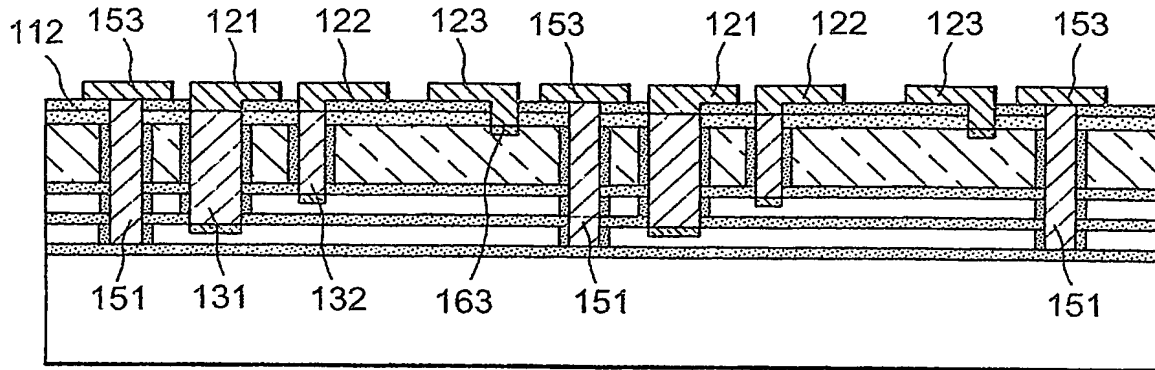


FIG. 7P

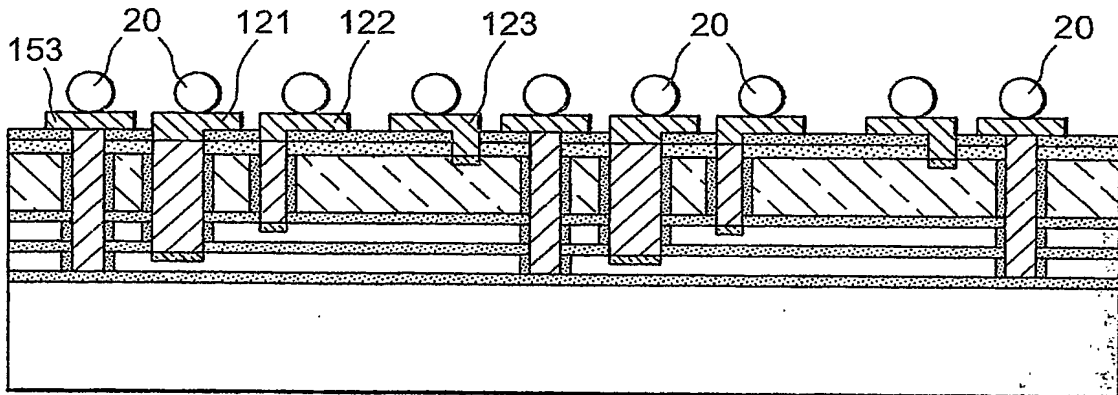


FIG. 7Q

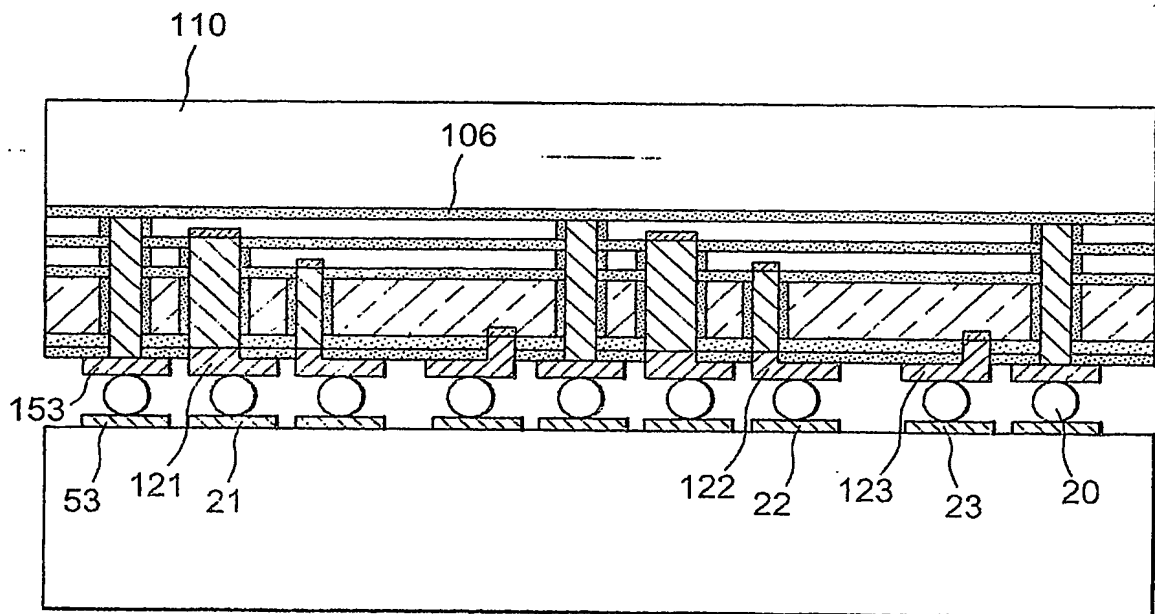


FIG. 7R

10



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1../1..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

UB 11.34 W / 2/00.01

Vos références pour ce dossier (facultatif)

B 14131.3/JL

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

02.16178 DU 19.12.2002

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

MATRICE DE DETECTEURS MULTISPECTRAUX.

LE(S) DEMANDEUR(S) :

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE  
31-33 Rue de la Fédération  
75752 PARIS 15ème

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

1 Nom		GIDON
Prénoms		Pierre
Adresse	Rue	9 avenue du Grésivaudan
	Code postal et ville	13 8 1 3 0 ECHIROLLES
Société d'appartenance (facultatif)		
2 Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		
3 Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)

DU (DES) DEMANDEUR(S)

OU DU MANDATAIRE

(Nom et qualité du signataire)

PARIS LE 30 DECEMBRE 2002  
J. LEHU

PCT/FR2003/050186

